

# Micromecanizado Láser de Componentes de Gran calidad de Acabado Superficial

J.J García-Ballesteros , C.Molpeceres , S.Lauzurica ,  
J. de Vicente , J.L. Ocaña '

*CENTRO LASER UPM, Edificio Tecnológico "La Arboleda", Campus Sur UPM  
Ctra. de Valencia km. 7,300. Teléfono (+34)913365541 FAX (+34)913365534  
juanjo.garcia-ballesteros.ramirez@upm.es*

*Laboratorio de Metrología y Metrotecnica, Universidad Politécnica de Madrid  
C/ José Gutiérrez Abascal 2, 28006 MADRID*

## Resumen

El uso de láseres pulsados con anchos temporales de nanosegundos y longitudes de onda en el rango Ultravioleta, permiten un preciso control del material abolido, convirtiendo dicha técnica en una herramienta fundamental para mecanizados que requieren de una gran calidad y acabado, con relaciones de aspecto muy altas. Este trabajo presenta un análisis paramétrico de la influencia de las distintas variables de proceso para diferentes tipos de materiales (metálicos, dieléctricos, materiales orgánicos, etc) en la calidad y acabado final.

**Palabras Clave:** Micromecanizado, ablación, UV, nanosegundos, laser excímero.

## Abstract

The use of nanoseconds U.V. lasers permits a precise control in ablation's processes. As a result this tool plays a fundamental role in machining where a high quality and good aspect ratios are required. This paper presents a parametric analysis of the influence of some processing parameters for different types of materials.

**Keywords:** Micromachining, ablation, UV, nanoseconds.

## 1. Introducción

El gran avance surgido en el campo nano-microtecnológico ha convertido al micromecanizado láser en una herramienta fundamental. Dentro de dicho ámbito la modificación superficial ocupa lugar destacado por la demanda continua de procesos de tales características en la fabricación de dispositivos. La tendencia a la miniaturización en diferentes campos han aumentado las exigencias de precisión, así como el empleo de diferentes sistemas láser, con diferentes características como el tiempo de iluminación, longitudes de onda más bajas, mayores densidades de potencia, etc. permiten el uso de gran variedad de materiales que requieren una elevada razón de aspecto, es decir, una alta relación entre la profundidad del mecanizado y su anchura.

Entre las ventajas que el empleo de láseres presenta frente a otras técnicas destacan su carácter no intrusivo y, por tanto, la ausencia de modificación superficial por contacto. Otros puntos destacables son la posibilidad de selección precisa de la zona de material a abberir, la capacidad de suministrar una energía muy grande en una superficie pequeña con gran precisión, la mínima afectación térmica, la velocidad del proceso y sobre todo la calidad del mecanizado, con resoluciones inferiores a 1µm.

No obstante, esta precisión en el dominio micrométrico debe ir acompañada de unas reducidas cargas térmicas y mecánicas con relación a los procesos tradicionales de fabricación de componentes de igual tipo a mayor escala.

La mayor parte de los microprocesos laser superficiales se limitan a la modificación de material superficial produciendo cambios alotrópicos o a la ablación selectiva de material, lo que permite su aplicación en procesos con estrictos requerimientos de calidad, como el micromarcado de superficies de gran calidad de acabado, microsensores, MEMS, contacto en dispositivos fotovoltaicos, etc.

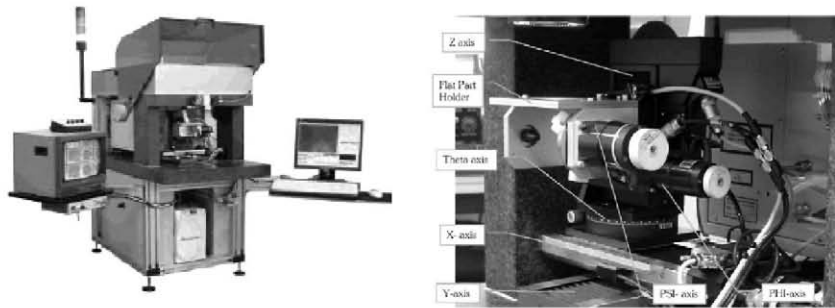
En el mecanizado láser, la misión del láser consiste generalmente en fundir el material y expulsarlo con la ayuda de un gas de aporte. Mediante este mecanismo es difícil controlar la profundidad de mecanizado pudiendo además generarse otros procesos, como microfracturas, material fundido adherido, etc. que afectan a la calidad final del mismo y que podrían condicionar su aplicabilidad. A densidades de potencia altas, típicamente para pulsos de láser cortos, el mecanizado se produce mediante la eliminación de material por medio de la vaporización superficial de capas de unos cientos de nanómetros (según el tipo material y las propiedades de la radiación electromagnética que interactúan se pueden dar diferentes tipos de procesos, térmicos o no térmicos, diferentes tipos de eliminación de material como ablación fotomecánica, fotofísica, fotoquímica, etc).

## **2. Parte experimental**

Este trabajo se ha llevado a cabo con la estación de trabajo ML-100 diseñada en el Centro Laser de U.P.M y con el sistema estación de trabajo VectorMark Workstation VWS800 de TRUMPF. La primera consta de dos fuentes láser, un estado sólido Nd:YVO<sub>4</sub> bombeado por diodo(DPSS), triplicado en frecuencia y optimizado con Q-Switch para uso en aplicaciones que requieren de gran energía y pulsos extremadamente cortos, emitiendo en una longitud de onda de 355 nm y un láser de Excímero pulsado que trabaja en el espectro ultravioleta un poco más profundo, 248 nm, por proyección en

máscara, ambos con una duración de pulso en el rango de nanosegundos y trabajando en punto focal. A parte de los dos sistemas láser, el sistema integra un sistema multieje (seis ejes en total, 5 automáticos y uno manual) de gran precisión, concretamente de 1  $\mu\text{m}$  en dos dimensiones XY y 40  $\mu\text{m}$  en volumen. La Workstation VWS 800 está formada por un láser de estado sólido Nd:YAG con irradiancia de 1064 nm, donde el haz láser es movido a través de 2 espejos galvanométricos.

Para el estudio superficial y la caracterización se utilizó Microscopia Confocal de Barrido CLSM y técnicas convencionales de microscopía electrónica. La primera permite obtener imágenes de gran precisión, siendo la precisión de medida en el eje Z de al menos 100 nm (la precisión mecánica es de 25 nm), aunque esta depende fuertemente de la reflectividad. Para la segunda podemos llegar a resoluciones de 3,5 y 5 nm según trabajemos con electrones secundarios o retrodispersados, respectivamente.



*Figura 1. Sistema Micromecanizado ML-100(izda.), sistema de posicionamiento multieje (dcha.)*

### 3. Presentación de resultados y discusión

El uso de la ablación láser como herramienta para desarrollar microprocesos de gran calidad es un proceso intrínsecamente lento. La cantidad de selección de material a eliminar es muy pequeña. En el presente trabajo hemos estudiado la influencia de diferentes variables de proceso en el aspecto y calidad del micromarcado. En la ablación selectiva de material influyen variables como la velocidad del proceso, frecuencia de repetición del pulso láser, ancho temporal del pulso, energía y/o fluencia (energía de deposición por área  $\text{J}/\text{cm}^2$ ) y la longitud de onda (esta principalmente, junto a tiempo de iluminación, nos marca notablemente el tipo de interacción láser-materia y por tanto la calidad superficial del material), entre otras. El solape del pulso se relaciona con la

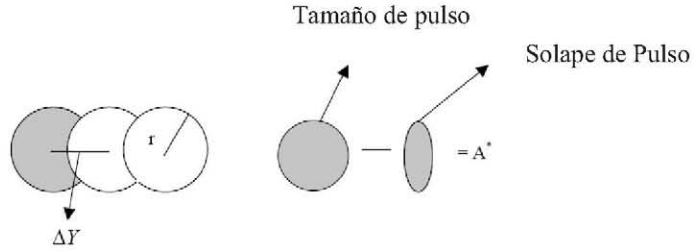
velocidad del sistema de posicionamiento  $v$ , el diámetro de enfoque del haz  $D$  y la frecuencia de repetición  $f$  según Ecuación (1) y (2):

$$A^* = \pi r^2 - 2 \left[ r^2 \arccos \left( \frac{\Delta Y}{2r} \right) - \frac{\Delta Y}{2} \sqrt{r^2 - \frac{\Delta Y^2}{4}} \right] \quad (1)$$

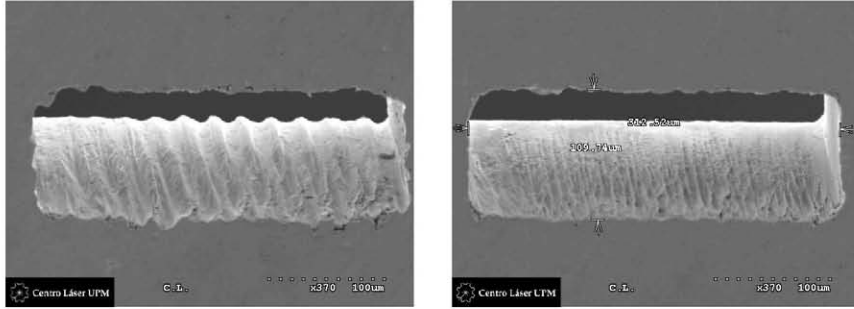
siendo

$$\Delta Y = \frac{v}{f} \quad (2)$$

$$n^{\circ} \text{ pulsos} = \frac{fD}{v} \quad (3)$$



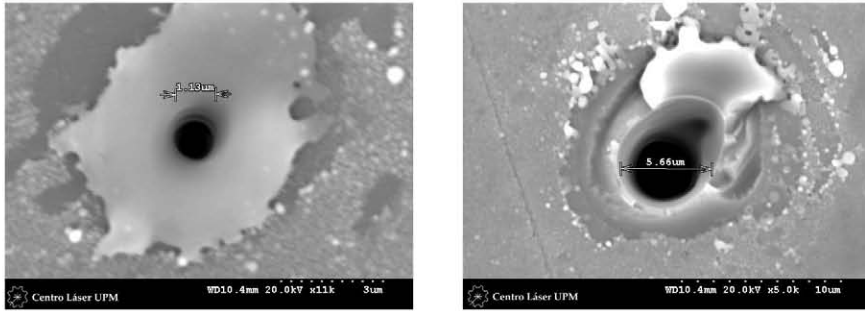
En la figura 2 se observa la influencia de estos parámetros en la calidad del marcado



**Figura 2.** Influencia de la variación de solape en Tántalo

En la Figura 3 se observa la variación de la calidad y la precisión según la deposición energética,

$$E_{\text{pulso}} (J) = \frac{\text{Potencia (W)}}{f \text{ (Hz)}} \quad (4)$$



**Figura 3.** Influencia de la calidad en el marcado en función de la  $E_{PULSO}$  ( $n^\circ$  de pulsos 150  $f=15\text{kHz}$  (izda.  $P=15\text{ mW}$ ; dcha.  $P=46\text{ mW}$ ) en  $\text{LiNbO}_3$  (Niobato de litio)

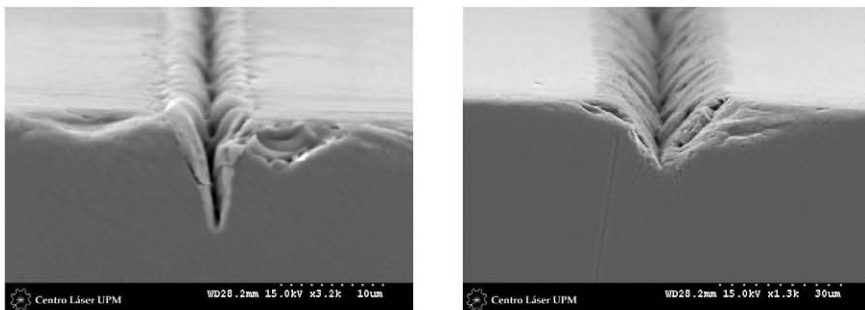
La Figura 4 nos muestra la difusión-afectación térmica producida por el ancho temporal:

1. Difusión del Calor  $D = \sqrt{4tK}$  donde  $t$  es el ancho temporal del pulso,  $K$  el coeficiente de difusión térmica que depende exclusivamente de las propiedades del material:

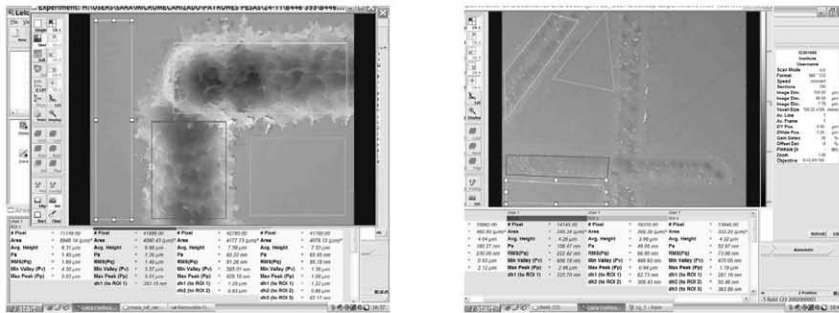
2.  $K = \frac{k}{\rho X}$  ( $k$ :conductividad térmica;  $\rho$ :densidad del material;  $X$ :calor específico del material)

**Tabla II.** Modificación superficial según irradiancia.

	dh entre material tratado y no tratado	Rugosidad surco (Pa)
UV	308.89 nm	129.90 nm
IR	1.28 μm	1.40 μm



**Figura 4.** Influencia del ancho temporal en SBN (izda. Femtosegundos; dcha. Nanosegundos)



**Figura 5.** Imagen topográfica de un proceso de micromarcado con mínima generación de rugosidad superficial (izda. radiación UV; dcha. radiación IR).

#### 4. Conclusiones

La técnica de micromecanizado mediante radiación UV con anchos de pulsos de nanosegundos resulta excelente para realización de procesos de micromarcado de excepcional calidad y con control de la afectación térmica del material objeto del proceso. Todos estos ejemplos anteriores muestran que con una selección apropiada de las diferentes variables podemos llegar a tener un selecto control en el marcado de materiales y en la eliminación de los mismos. Podemos pues caracterizar el ritmo de ablación de material a decenas de nanómetros considerando que la absorción sea prácticamente superficial usando densidades de potencias alta y pulsos cortos con índices de repetición altos para conseguir ablaciones eficientes y así conseguir resoluciones dimensionales de micrometro/s.

#### 5. Referencias

- Gower, M.C.: Industrial applications of laser micromachining. Optic express. Vol 7. N° 2. 57-67. (2000).
- Choo, K.L., Ogawa, Y., Kanbargi, G., Otr, V., Raff, L.M., Komanduri, R.: Micromachining of silicon by short-pulse laser ablation in air and under water. Materials Science and Engineering A. 372. 145-162. (2004).
- Molpeceres, C. et al J. Micromech. and Microeng. 15.1271-1278 (2005).
- Miller, J.C: Laser ablation: Principles and Applications. Springer Verlag (1994)

#### 6. Agradecimientos

Trabajo parcialmente subvencionado por el Ministerio de Educación y Ciencia (Proyectos PSE020400-2006-1, PSE020400-2007-2).